

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO - GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství



ZPRACOVÁNÍ KALŮ Z MĚSTSKÝCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

Treatment of sludge from municipal wastewater treatment plants

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Natálie Kavanová

Obor: Zpracování a zneškodňování odpadů

Vedoucí práce: doc. Ing. Silvie Heviánková Ph.D.

Datum odevzdání: **30. 4. 2018**

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Natálie Kavanová**
Studijní program: **B2102 Nerostné suroviny**
Studijní obor: **3904R022 Zpracování a zneškodňování odpadů**
Téma: **Zpracování kalů z městských čistíren odpadních vod**
Treatment of sludge from municipal wastewater treatment plants
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakteristika kalů z čistíren odpadních vod
3. Současný stav v nakládání s kaly z čistíren odpadních vod
4. Posouzení kalového hospodářství ČOV Opava
5. Vyhodnocení získaných podkladů
6. Shrnutí závěrečné práce
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Dohányos, M.; Koller, J.; Strnadová, N. Čištění odpadních vod. Praha: VŠCHT. 2007
Dohányos, M. a kol. Anaerobní čistírenské technologie. Brno: NOEL 2000 s.r.o. 1998. 343 s. ISBN 80-86020-19-3
Malý, J.; Hlavínek, P. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno: NOEL 2000 s.r.o. 1996. 255 s. ISBN 80-86020-05-3
Dále dle pokynů vedoucího bakalářské práce

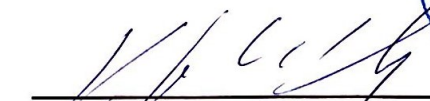
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018




doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu


doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

PROHLAŠUJI, ŽE

jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu,

byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),


souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,

bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 30. 4. 2018


.....
Kavanová Natálie

ANOTACE

Bakalářská práce se věnuje problematice současného stavu v nakládání s kaly z čistíren odpadních vod. Úvodní část je zaměřena na základní pojmy, týkající se kalů, následuje odebrání kalu, způsoby zahušťování, odvodňování, hygienizace a stabilizace. Závěr práce je věnován posouzení kalového hospodářství ČOV Opava a zahájením provozování termofilního procesu a systému tepelného fázování anaerobní stabilizaci kalu.

Klíčová slova: kal, zahušťování, odvodňování, nakládání s kalem, hygienizace a stabilizace, termofilní proces

ANOTATION

This thesis with issues of contemporary handling of sludge from sewage treatment plants. The introductory part is focused on the basic terminology concerning the sludge followed by the ways of removing of the sludge, the methods of condensing , dewatering, sanitization and stabilizatio of the sludge. The conclusion is dedicated to the assessment of the sludge management of ČOV Opava (a sewage water treatment plant in Opava) and also to its launch of systém of thermal phasing of anaerobic stabilization of the sludge.

Key words: sludge, condensing, dewatering, sludge management, sanitization and stabilization, thermophilic process

OBSAH

1 Úvod	10
2 Charakteristika kalů z ČOV	11
2.1 Vznik kalů	11
2.2 Vlastnosti kalů	11
2.3 Rozdělení kalů	13
2.3.1 Primární kal	13
2.3.2 Sekundární kal (přebytečný kal)	14
2.3.3 Surový/ směsný kal	15
2.3.4 Chemický kal	15
3 Současný stav v nakládání s kaly z čov	17
3.1 Odebírání kalu ze systému	17
3.2 Zahušťování kalu	18
3.2.1 Sedimentace v gravitačních nádržích	19
3.2.2 Flotace	20
3.2.3 Zahušťovací odstředivky	20
3.2.4 Rotační, pásové, šnekové a šterbinové zahušťovače	21
3.3 Předúprava kalu	21
3.4 Odvodňování kalu	22
3.4.1 Přirozené způsoby odvodňování na kalových polích a lagunách	23
3.4.2 Sítopásové lisy	23
3.4.3 Kalolisy	24
3.4.4 Odvodňovací odstředivky	24
3.4.5 Termické sušení	25

3.5 Hygienizace a stabilizace kalu	25
3.5.1 Rozdělení metod hygienizace a stabilizace kalu	25
3.6 Následné nakládání s kalem z ČOV	26
3.6.1 Skládkování kalu	26
3.6.2 Zakomponování kalu do stavebních materiálů	27
3.6.3 Spalování kalu	27
3.6.4 Využití kalu v zemědělství jako hnojiva	27
3.6.5 Využití kalu v zemědělství pro kompostování	29
4 Posouzení kalového hospodářství čov opava	31
4.1 Původní kalové hospodářství ČOV Opava	32
4.2 Technologická část	32
4.2.1 Hrubé předčištění	33
4.2.2 Mechanické předčištění	33
4.2.3 Biologické čištění	33
4.2.4 Další úpravy □	33
4.2.5 Kalové hospodářství	34
4.2.6 Plynové hospodářství	34
4.2.7 Systém řízení technologických procesů	34
4.2.8 Oblasti investice	36
4.2.9 Náklady	36
4.2.10 Rekonstrukce kalového hospodářství, včetně navazující technologie plynového hospodářství □	36
4.2.11 Důvody investice □	38
4.3 TERMOFILNÍ PROCES A SYSTÉM TEPELNÉHO FÁZOVÁNÍ ANAEROBNÍ STABILIZACE KALU	38
4.3.1 SPECIFIKACE NOVÉHO ŘEŠENÍ	39

4.3.2 Popis nové anaerobní stabilizace s tepelným fázováním	39
5 Vyhodnocení získaných podkladů	43
5.1.1 První zkušenosti a výsledky	43
6 Shrnutí závěrečné práce.....	45
7 ZÁVĚR.....	46

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

%obj.	objemové procento
°C	stupeň celsius
Al	chlór
Al ³⁺	hlinité ionty
AOX	adsorbovatelné organicky vázané halogeny
Apod.	a podobně
BP	bioplyn
Cd	kadmium
CO ₂	oxid uhličitý
Cr	chrom
Cu	měď
ČOV	čistírna odpadních vod
d	den
EO	ekvivalentní obyvatel
EU	Evropská Unie
Fe	železo
Fe ³⁺	železité ionty
g	gram
g.l ⁻¹	gram na litr
g.m ⁻³	gram na metr krychlový
H ₂ O	voda
H ₂ S	sulfan
Hg	rtuť
Hmot %	hmotnostní procento
CH ₄	methan
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
Kg _{org.-suš.} /m ³ .d	kilogram organické sušiny na metr krychlový za den
Kg _{org.-suš.} /d	kilogram organické sušiny za den
kWh.d ⁻¹	kilowatthodina za den
l.kg ⁻¹	litr na kilogram
m ³	metr krychlový
m ³ .d ⁻¹	metr krychlový za den
mg	miligram
mg.l ⁻¹	miligram na litr
mg.m ⁻³	miligram na metr krychlový
mmol.l ⁻¹	milimol na litr
MPa	megapascal
N ₂	dusík
N _{celk.}	celkový obsah dusíku
NEL	nepolární extrahovatelné látky
Ni	nikl
N-NH ₄ ⁺	amonné ionty
PCB	polychlorované bifenylly
P _{celk.}	celkový obsah fosforu
pH	vodíkový exponent
Pb	olovo
SmVak	Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s.

t.d ⁻¹	tuna za den
tzn.	to znamená
VN	vyhnívací nádrž
Zn	zinek
ŽP	životní prostředí
KTJ	kolonie tvořící jednotku

1 ÚVOD

Při čištění odpadních vod vzniká odpadní látka, která je více nebo méně koncentrovanou vodní suspenzí, nazýváme ji kalem [8]. Odpadní vody jsou produktem každodenní lidské činnosti jak v domácnostech, tak v průmyslu nebo ve službách.

Na ČOV se z odpadní vody odstraňují nežádoucí látky. Výchozím produktem je voda splňující ustanovené normy, jako sekundární produkt vzniká kal. Důležitou vyhláškou vodního zákona je *vyhláška č. 123/2012 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových* [7]. Tato vyhláška vymezuje zdroje znečištění, určování znečištění obsaženého v odpadních vodách, zjišťování objemu a měření vypouštěných odpadních vod. [7] Čištěním odpadních vod chceme docílit minimalizace dopadu na životní prostředí. U kalů nastává problém zejména u stabilizace a hygienizace, kterou odstraňujeme patogenní látky. Méně důležitou úpravou je snížení obsahu vody. Je několik možností, jak kal uskladnit, recyklovat či likvidovat. Nejméně vhodnou metodou je skládkování kalu, naopak nejprospěšnější je recyklace. Kal, který obsahuje organické látky, se dále může využívat např. jako náhrada hnojiva v zemědělství.

V dnešní moderní době se počet ČOV zvyšuje, souvisí to s rozvojem měst, průmyslu a s rostoucím počtem obyvatel. Množství kalů tedy narůstá, proto je nutné se zabývat touto problematikou.

2 CHARAKTERISTIKA KALŮ Z ČOV

2.1 Vznik kalů

Každá mechanicko-biologická čistírna při čištění odpadních vod produkuje určité množství kalu. Jejich produkce závisí na velikosti zařízení a zvolené technologii čištění. Kaly, které jsou vyprodukovány, se čerpají do kalové čerpací stanice a jsou zpracovávány v kalové koncovce, která je nezbytnou součástí každé ČOV. Důležitým faktorem je i další využití kalu, případně jeho likvidace. Z tohoto důvodu je důležité uvažovat o zajištění jejich hygienické nezávadnosti. [8]

2.2 Vlastnosti kalů

Pojmem odpadní kal označujeme dvou nebo více odpadních látek. Alespoň jedna z těchto látek se musí nacházet v kapalném skupenství a musí vytvářet souvislou kapalnou fázi. Nejméně jedna další látka musí být přítomna v tuhém skupenství a musí být dispergovaná v souvislé kapalně fázi. [9], [21]

Kaly představují asi 1 – 2 % objemu směsi znečištěných vod. V kalu je zkoncentrováno 50 – 80 % původního znečištění. Toto znečištění způsobují především patogenní mikroorganismy, obsah toxických chemických látek např. AOX, PCB, NEL a těžké kovy jako je Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn. Druhy a počty patogenů závisí hlavně na místních geografických, klimatických a demografických faktorech. Exkrementy infikovaných lidí a zvířat jsou hlavním zdrojem patogenních mikroorganismů. V odpadních vodách můžeme najít mezi patogenními organismy zejména viry (hepatitida A), bakterie (Salmonella, Escherichia coli), parazitičtí červi a protozoa. [9], [21]

Kaly z ČOV jsou složitou heterogenní suspenzí látek organických i anorganických. Tyto látky jsou odsazeny z odpadních vod nebo vzniklých při technologických procesech čištění odpadních vod. Jsou bohatým zdrojem základních živin (dusík a fosfor) i stopových prvků a organické hmoty, mohou zlepšovat biologické i fyzikálně-chemické vlastnosti půd. [8]

Konzistence kalu je důležitou vlastností. Souvisí s celkovou koncentrací tuhých složek v kapalině, jinak řečeno obsah sušiny v kalu. Vázaná voda k pevné fázi nemá

v celém jejím objemu stejný charakter. Prostorová voda lze oddělit gravitačními silami (sedimentací). Existuje ale voda více či méně vázaná v kalu. Tuto vodu lze separovat jen pomocí vynaložení větší energie (odstředivky nebo přívodem tepelné energie). Sušina ve většině případů nepřekročí 10 %, toto značně závisí na charakteru kalových částic. Proto dva různé kaly o stejné sušině mohou mít zcela odlišnou konzistenci. [9]

Městské ČOV obsahují průměrně 0,5 – 7,0 % sušiny v kalu. Sušina se skládá z 60 – 70% látek organických a 30 – 40 % látek anorganických. Tuhá fáze kalu obsahuje asi 80 % částic suspendovaných o velikosti 0,1 mm a asi 20 % částic pod velikostí 0,1 mm. Složení kalů se od sebe liší v závislosti na místních podmínkách. Většina částic kalu má koloidní charakter. Jednotlivé částice mají velkou povrchovou plochu. V organické sušině, která má obvykle kapilární tvar, se zadržuje velké množství vody, což způsobuje obtížné odvodňování kalů. [11]

Přibližná produkce čistírenských kalů v ČR v absolutní sušině je cca 200 000 tun za rok. Vzhledem k mezinárodním dohodám a závazkům by v nejbližších letech mělo dojít k vybudování ČOV ve všech obcích nad 2 000 obyvatel. Tímto se produkce kalů značně zvýší. V následujících letech je odhadována na 220 000 – 340 000 tun sušiny za rok. [9]

Množství usazených kalů závisí na volbě kanalizačního systému (jednotná nebo oddělená kanalizační síť), na stupni úrovně obyvatelstva a na množství a druhu průmyslových odpadních vod, které jsou napojené na městskou čistírnu. Množství a jakost jsou závislé na stupni a druhu čištění a na tom, jak je velké zatížení čistících zařízení. Univerzální metoda pro zpracování, využití a likvidaci čistírenských kalů neexistuje. Proto je značná rozdílnost v nakládání s čistírenskými kaly. [9]

Kaly se v ČOV usazují ve formě primárního kalu, sekundárního kalu (aktivovaného kalu), surového kalu a kalu chemického.

Typ kalu	% sušiny
Primární kal	2,5 - 5
Sekundární kal	0,5 – 1,5

Tabulka 1: Množství sušiny [1]

2.3 Rozdělení kalů

2.3.1 Primární kal

Jedná se o odpadní látky usazené v surové odpadní vodě. Mají většinou zrnitou strukturu. Primární kal je tvořen zachycenými plovoucími nečistotami (tuk apod.), které prošly přes lapák písku, čelisti a usadily se v usazovacích nádržích. Kal obsahuje 2,5 – 50 g.l⁻¹ sušiny. Jelikož obsahuje i množství koloidních látek, je schopen vázat vodu a také ji zadržovat. Toto má za důsledek špatné vysoušení. [1]

Produkce primárního kalu

Množství primárního kalu je závislé hlavně na množství nerozpuštěných látek, které přitékají na ČOV a na účinnosti primární sedimentace. [4]

Složení primárního kalu

Složení primárního kalu je závislé na použité technologii čištění odpadních vod. [4]

LÁTKA	Obsah ve hmot. %
Tuky	5,7 – 4,4
Bílkoviny	19,0 – 28,0
Celulosa, hemicelulosa, lignin	12,8 – 25,4
Huminové kyseliny	do 4,0
Ncelk.	2,0 – 4,5
Fe	2,1 – 3,5
Al	1,3 – 2,5
Pcelk.	0,5 – 2,1
Anorganická složka celkem	25,0 – 30,0

Tabulka 2: Orientační složení primárního kalu podle zastoupení typů látek [4]

Vlastnosti primárního kalu

Primární kal obsahuje velké množství mikroorganismů. Mikroorganismy jsou obsaženy v jeho hlavní složce, splaškové vodě. Musíme tedy počítat s tím, že budou i po jeho separaci nebo při zpracování probíhat rozkladné biochemické procesy. Primární kal je vysoce reaktivní a snadno sedimentuje. [3]

Základní vlastnosti kalu:

- Vysoká reaktivita
- Anaerobní prostředí
- Dobré sedimentační vlastnosti
- Vysoký obsah patogenů

2.3.2 Sekundární kal (přebytečný kal)

Jedná se o přebytečnou biomasu, vznikající v dosazovacích nádržích během procesu biologického čištění. Při biologickém čištění je za neustálého promíchávání přidáván kyslík. Bakterie rozkládající organické látky z vody se díky přítomnosti kyslíku množí a shlukují se ve vločky. Sekundární kal má tedy vločkovitou strukturu. [6]

Do ČOV neustále přitéká voda, bakterie se dále množí, proto je nutné odstraňovat část vznikajícího kalu jako přebytečný aktivovaný kal. Tímto dostáváme externí kal, jedná se o kal dovážený z jiných čistíren odpadních vod a z dalších zdrojů, jako jsou septiky a jímky. Charakter kalu je ovlivňován čistícím zařízením, ve kterém vzniká. Hlavním charakteristickým znakem ovlivňující přebytečný kal z biologického čištění je koncentrace a složení odpadních vod. [1], [25]

Produkce sekundárního kalu

Produkce přebytečného kalu je závislá na technologické konfiguraci čistírenské linky, jejím stavebním provedení, zvolené technologické koncepci, způsobu provozování a řadě biochemických a fyzikálních faktorů. [3]

Základní faktory, které ovlivňují produkci přebytečného kalu:

- Přítomnost primární sedimentace
- Technologická koncepce biologického stupně
- Stáří kalu
- Teplota vody
- Zatížení kalu
- Chemické srážení fosforu
- Účinnost dosazovací nádrže [3]

Složení sekundárního kalu

Složení je značně ovlivněno kvalitou přiváděné odpadní vody. [3]

Parametr	Obsah ve hmot %
Organické látky, jako ztráta žiháním	60,0 – 70,0
Obsah uhlíku v organické složce biomasy	47,0 – 52,0
Obsah kyslíku v organické složce biomasy	31,0 – 38,0
Obsah vodíku v organické složce biomasy	7,0 – 8,0
Obsah dusíku v organické složce biomasy	7,0 – 11,0
Obsah fosforu v organické složce biomasy	1,1 – 2,6
Obsah anorganických látek	30,0 – 40,0

Tabulka 3: Přibližné složení sekundárního kalu

Vlastnosti sekundárního kalu

Sekundární kal je na rozdíl od kalu primárního méně reaktivní a má podstatně horší sedimentační vlastnosti. [3]

2.3.3 Surový/ směsný kal

Surový kal je směsí primárního a přebytečného kalu. [2]

2.3.4 Chemický kal

Vzniká při srážecích reakcích, které jsou využívány většinou ke snížení obsahu fosforu. Dochází pak ke zlepšení sedimentačních vlastností aktivovaného nebo primárního kalu. [3]

Chemický kal je většinou nedílnou součástí primárního nebo přebytečného kalu, záleží na tom, kde se srážení aplikuje. Jedná-li se o oddělené srážení, bývá třetím stupněm čistíren odpadních vod. Vzniká samostatný chemický kal. [3]

Produkce chemického kalu

Množství chemického kalu závisí především na způsobu aplikace srážedel a na jejich chemickém složení. Nadbytkem solí Fe^{3+} nebo Al^{3+} je nutno srážet fosfor. Nadbytek je určen na základě technologických parametrů ČOV, účinnosti biologického odstraňování fosforu vázaném v biomase a především chemickým složením čištěné odpadní vody.

Nadbytečné srážedlo vlivem vedlejších hydrolytických reakcí poskytuje hydroxidy, které pak mohou zvyšovat produkci chemického kalu. [3]

Složení chemického kalu

Složení chemického kalu závisí na sloučeninách, které byly použity. Jedná se převážně o směs orthofosforečnanu železa nebo hliníku a hydroxidů příslušných kovů. Dále je závislé na fyzikálně-chemických podmínkách srážení. Vzniká-li chemický kal při odděleném srážení, musíme počítat s tím, že je na povrchu vloček vázána i část biomasy. [3]

Vlastnosti chemického kalu

O vlastnostech chemického kalu uvažujeme jen v případě, že se jedná o kal vzniklý odděleným srážením. Vlastnosti chemického kalu jsou obecně dány dobou zrání sraženiny, která vznikla množstvím organického materiálu a chemickými vlastnostmi použitého kationtu. Vzniklé sraženiny jsou chemicky stálé, pokud je jejich pH v rozmezí 5,5 – 8,0. Pro kaly železité je rozmezí pH 4,0 – 9,5. Sedimentační vlastnosti jsou u chemického kalu většinou špatné a do značné míry jsou závislé také na množství organické látky, která byla zachycena. [3]

Složka	% složek		
	Primární	Sekundární	Chemický
Org. hmota	60 - 80	60 - 75	45 - 60
Intertní látka	20 - 40	25 - 70	40 - 45

Tabulka 4: Složení kalu [1]

3 SOUČASNÝ STAV V NAKLÁDÁNÍ S KALY Z ČOV

Základním požadavkem je takové využití kalu nebo jeho zpracování, které je pro ŽP přijatelné, udržitelné a ekonomicky únosné. Zpracování kalů je ekonomicky velmi náročné. Stojí přibližně více než polovinu nákladů na čištění odpadních vod. [11]

Odpadová Politika EU podporuje zabránění vzniku odpadů. Preferuje jejich minimalizaci a recyklaci. U kalů však lze pouze zmenšit produkci množství, nelze ji úplně zabránit. [11]

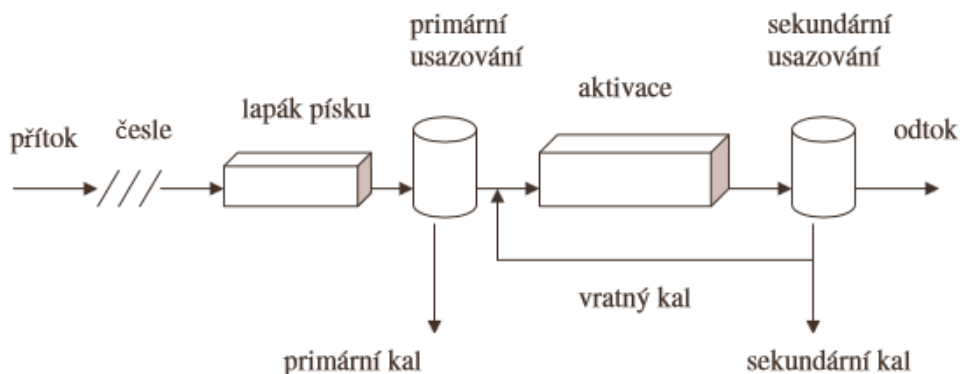
Podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů a v souladu se Směrnicí Rady 86/278/EEC [13], [14], patří kaly z komunálních čistíren a jim podobných ČOV mezi vybrané jmenovitě uváděné druhy odpadu, pro které jsou pro jejich využití v zemědělství stanoveny podmínky samostatným předpisem. S novým zákonem nabývá účinnosti i vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. [30]

Kal z ČOV je podle zákona klasifikován jako ostatní. Obsahuje však vysoký podíl organických látek v surovém kalu. Zároveň jsou v něm obsaženy patogenní organismy. Proto je přímo na ČOV aplikovaná technologie úpravy a zpracování kalu, která promění kal na materiál, který je stabilizovaný. Tento stabilizovaný materiál je už předurčen k využití v zemědělství. [11]

Zpracování kalu zahrnuje jeho zahušťování, předúpravu, stabilizaci, hygienizaci, odvodňování a následné nakládání s kalem.

3.1 Odebírání kalu ze systému

Podmínkou je, aby kal v sedimentačních nádržích anaerobně nezahníval. Četnost odkalení se volí v průměru 3 – 4x za 24 hodin. [4]



Obrázek 1: Schéma odděleného odebrání kalu ze systému

Většinou se přebytečný aktivovaný kal odebírá z dosazování z externí recirkulace kalu do aktivace. Množství kalu by mělo odpovídat jeho denní produkci. Odkalování je možné provádět kontinuálně. U malých čistíren diskontinuálně. U ČOV do 2 000 ekvivalentních obyvatel stačí odkalovat 2x týdně. [4], [25]

3.2 Zahušťování kalu

První etapou zpracování kalu v kalovém hospodářství ČOV je zahušťování. Provedení ovlivňuje veškeré následující investiční i provozní náklady. Je-li kal zpracováván anaerobní stabilizací, rozhodující vliv má zahušťování kalu také na:

- Tepelnou a energetickou bilanci tohoto procesu i celé ČOV
- Hydraulické zatížení vyhnívacích nádrží
- Produkci bioplynu
- Produkci kalové vody
- Hygienizaci stabilizovaného kalu [11]

Zahušťujeme-li kal, dochází ke snížení jeho objemového množství. Odstraní se z něj část volné vody. Po zahuštění se optimální obsah sušiny pohybuje mezi 5 – 6 hmot %. Aby se dal kal čerpat k dalšímu zpracování, má tekutou konzistenci. Zahušťování kalu můžeme provádět strojně nebo gravitačně. [4]

Typ kalu	Přidávky organických flokulantů dle typu zahušťování [g/kg suš. kalu]			
	Tlaková flotační jednotka	Odstředivka s pevným válcem	Košová odstředivka	Gravitační pásový lis
Přebytečný aktivovaný kal	1,8 – 4,5	0 – 3,6	1,8 – 2,7	2,7 – 6,4
Aerobně stabilizovaný		3,6 – 7,3		
Anaerobně stabilizovaný		3,6 – 7,3		

Tabulka 5: Typické dávky organických flokulantů při zahušťování kalů [8]

3.2.1 Sedimentace v gravitacích nádržích

Pro primární kal, kal z chemického čištění a kal ze systémů s přisedlou biomasou se doporučuje sedimentace v gravitačních nádržích. [8]

Nyní je upřednostňován oddělený odtah kalu, hlavně díky rozdílným možnostem jejich zahušťování. Dobré sedimentační schopnosti vykazuje primární kal, proto je možné dosáhnout dostatečného zahuštění už v usazovacích nádržích. Primární kal běžně obsahuje 2,5 hmot % sušiny. Tato hodnota se může zvýšit instalací automatického systému, který řídí odtah kalu z usazovací nádrže na základě měření jeho koncentrace v potrubí pomocí ultrazvukových nebo optických metod. [8]

Vhodným časovým režimem odkalování lze také dosáhnout vyššího obsahu sušiny. Tímto opatřením se obsah sušiny primárního kalu zvýší na 3,5 – 4,5 hmot %. Za velmi uspokojivé hodnoty jsou považovány nad 4,5 hmot %. Jsou-li dosaženy tyto hodnoty už při odtahu z usazovací nádrže, není potřeba dalšího zhušťování kalu. [8]

Přebytečný kal má na rozdíl od primárního kalu sedimentační vlastnosti velmi špatné. Je to zapříčiněno velkým objemem kalových částic, které jsou při vyšších koncentracích v usazovacích nádržích v těsné blízkosti u sebe. Působící síly mezi kalovými částicemi pak převládají nad silami gravitačními. Průběh sedimentace je pozvolný. Obsah sušiny odebíraného kalu, je pouze 0,5 – 1,0 hmot %. Proto se doporučuje flotace nebo strojní způsoby pro samostatné zahušťování přebytečného kalu. [10]

3.2.2 Flotace

Flotace je proces oddělování suspendovaných částic z vody za působení plynu. Plyn je dodáván do kalové suspenze (nejčastěji vzduch). Vznikají malé bublinky, které se pak nabalují na částice kalu a vynáší je k hladině. Na hladině tak vzniká zahuštěná plovoucí vrstva (flotát). Zahuštěný vyflotovaný kal je hustý a má charakter pěny. Pěna je odebírána stíráním nebo nasáváním, je dobře čerpatelná. Tlaková nebo volná flotace je v praxi používána nejčastěji. [8]

U tlakové flotace je potřeba mít nainstalovanou tlakovou nádrž, kde se kal pod tlakem sytí vzduchem. Ve flotační nádrži následně dochází za normálního tlaku k vyloučení rozpuštěného vzduchu ve formě bublinek. Bublinky se spojují s částicemi kalu a vynáší je vzhůru. Tlak v tlakové nádrži je udržován na 0,3 – 0,5 Mpa, doba zdržení je 3 – 5 minut. Ve flotační nádrži je doba zdržení značně delší, cca 15 – 30 minut. Tlaková flotace je nejpoužívanější. [8]

3.2.3 Zahušťovací odstředivky

Odstředivky jsou využívány k zahuštění na principu rozdílné hustoty mezi vodou a částicemi kalu. Působící odstředivá síla je cca 2000 krát větší než je zemská gravitace. Výhodou odstředivek jsou malé nároky na prostor, malá spotřeba provozní vody na proplach a vysoká hygiena prostředí. Toto zařízení také vykazuje dobré zahušťovací parametry i bez použití flokulantů. Odstředivky se využívají k zahuštění primárního kalu, kalu z chemického čištění a hlavně k zahuštění přebytečného aktivovaného kalu, u kterého lze dosáhnout sušiny 4 – 6 % (bez flokulantů). [8]

Mezi hlavní části odstředivky patří kónický válcový buben a šnek, uložený na ložiskách. Buben i šnek se otáčejí stejně se vzájemnou diferencí otáček. V ložiskách je uložen buben, který tvoří rotor odstředivky. Zařízení je poháněno elektromotorem. Médium je vypouštěno do odstředivky pomocí přívodního potrubí do tělesa šneku, odkud je odstředivou silou usměrněno k plášti bubnu. Na povrchu bubnu se usazují těžší částice, šnekem jsou kontinuálně posouvány do kuželové části. Na kuželovou část navazuje výsyp. Odstředěná kapalina je vytlačována z bubnu vstupujícím médiem, odvádí se potrubím. [19]

3.2.4 ROTAČNÍ, PÁSOVÉ, ŠNEKOVÉ A ŠTĚRBINOVÉ ZAHUŠŤOVAČE

Principem je filtrace přiváděného kalu přes síto. Nezbytnou podmínkou je dávkování flokulantu (4 – 6 g na 1000 g sušiny). Množství flokulantu závisí na druhu kalu, typu flokulantu i zahušťovače a hlavně na průběhu koagulace před vlastní filtrací. Abychom zajistili dobrou koagulaci, musí se před vlastní zahušťovač zařadit tzv. koagulační reaktor. Poměrně nízké náklady, nenáročný servis a malá spotřeba energie patří mezi výhody tohoto zařízení. [8]

Rotační zahušťovač

Principem je pohyb kalu uvnitř nakloněného bubnu, který se pomalu otáčí. Stěny bubnu jsou tvořeny sítím. Kal se smíchá s flokulantem v koagulačním reaktoru. Takto upravený kal je přiváděn do bubnu, ve kterém pak dochází k cezení. Zařízení pro tlakové praní je instalováno uvnitř bubnu. [8]

Štěrbínové zahušťovače

Kal je unášen lopatkami plastového řetězového dopravníku přes štěrbinové síto. Na štěrbinovém sítu dochází k zahušťování. V zařízení je umístěn koagulační reaktor, zahušťovač, sběrná jímka zahuštěného kalu a prací vody. [8]

Pásové zahušťovače

Principem těchto zahušťovačů je pohyb kalu na nekonečném sítu. Zůstávají na něm vločky kalu, které byly aglomerované díky flokulaci. Voda je prolisována přes síto a odváděná. Kal na pásu bývá překlápěn radličkami, na konci procesu odpadává. [8]

Šnekový zahušťovač

Šnekové zahušťovače pracují na principu vynášení upraveného kalu šnekem přes statické síto. [8]

3.3 Předúprava kalu

Před vlastní stabilizací se provádí předúprava kalu. Cílem je snížení množství stabilizovaných kalů a zvýšení stupně jejich hygienizace. Jedná se o jednu z intenzifikací kalového hospodářství, která je založena na stimulaci biologického rozkladu při stabilizaci. Dochází k rozbití buněk mikroorganismů, do roztoku je uvolňován buněčný obsah (lyzát).

Lyzát stimuluje anaerobní mikroorganismy, které se podílí na stabilizaci. Mezi nejčastější způsoby předúpravy patří:

Mechanická destrukce

- Mletí kalu se skleněnými kuličkami
- Koloidní mlýn
- Tříštění ve vodním paprsku
- Roztírání v třecí misce

Fyzikální metody

- Termická předúprava
- Vysokotlaká kavitace
- Ultrazvuková kavitace

Chemické metody

- Hydrolýza kyselinami nebo zásadami
- Působení detergentů
- Působení rozpouštědel, antibiotik

Biologické metody

- Lyzace pomocí enzymů
- Autolyzace
- Inhibice tvorby buněčných stěn [11]

3.4 Odvodňování kalu

Při odvodňování kalu dochází k separaci vody ze suspenze. Konzistence kalu je poté tuhá a lze s ní manipulovat např. jako se zeminou. Stupeň odvodnění je závislý na kvalitě suspendovaných látek, bývá v rozsahu podílu sušiny od 20 do 50 %. Postup odvodnění může být přirozený nebo umělý. Přirozené odvodňování kalu se provádí na kalových polích a lagunách. Umělý způsob odvodnění je dosahován pomocí strojního zařízení (pásové lisy, kalolisy, dekantační odstředivky). Při strojním odvodňování je kaly nutno upravit, tak aby mikročástice kalu agregovaly do makrovloček. Filtrace a sedimentace je pak dostatečně účinná. Některé typy strojů (odstředivky, pásové lisy) se používají i k zahuštění kalu. Je prováděna předúprava:

Termická - teplota nad 100 °C za vysokého tlaku,

Chemická - přídavek organického nebo anorganického flokulantu, nejlépe v tekutém stavu. [8]

Při odvodňování se používají flokulanty, kterými je docíleno u hydrofilních organických kalů flokulace částic. Dochází pak k vytvoření filtrovatelné suspenze. U některých kalů je nezbytné dávkování flokulantů. Mezi nejvýznamnější anorganické flokulanty patří hlinité a železité soli, které vytvářejí příslušné hydroxidy. [8]

3.4.1 Přirozené způsoby odvodňování na kalových polích a lagunách

Kalové pole je mělká otevřená nádrž. Má betonové dno, které je pokryté vrstvou šterkopísku. Ve vrstvě šterkopísku je zabudovaná drenáž, která slouží odvádění odseparované vody z kalu. Stabilizovaný kal se vypouští do nádrže ve vrstvě 20 – 40 cm. Kal je odvodněn vsakováním vody do drenážní vrstvy a výparem. Dosáhneme-li požadovaného odvodnění, je kal odebrán a transportován ke konečnému zpracování. Proces odvodnění je tímto způsobem časově náročný. Závisí na klimatických činitelích a i na počasí. Zařízení je jednoduché, ale plošně a investičně náročné. Na kalových polích může docházet také k částečné hygienizaci kalu. Aby došlo k hygienizaci, tloušťka vrstvy kalu může být maximálně 23 cm, teplota nad 0 °C a doba trvání 3 měsíce. [8]

Kalové laguny jsou hlubší zemní nádrže, které jsou otevřené. Napouští se do nich kal o hloubce 0,7 – 1,5 m. Díky odpařování vody z hladiny probíhá odvodňování. Vsakování se uplatňuje v menší míře. Proces je ještě více časově náročný. Časový cyklus je závislý na počasí a bývá cca 1 rok. Odčerpáním kalové vody lze proces urychlit. Odvodněný kal obsahuje 25 – 30 hmot% sušiny. Těží se pomocí nakládače nebo bagru. Mezi nevýhody kalových lagun patří velký nárok na plochu, dlouhá doba procesu a i zhoršení kvality podzemní vody. [8], [26]

3.4.2 Sítopásové lisy

Sítopásové lisy nebo jen pásové lisy jsou používány při zahušťování i odvodňování kalu. Pro každý z těchto procesů se používají zařízení, které mají jiné technické parametry (typ lisu, rychlost pásu, množství a druh flokulantu). Principem je tlaková filtrace s kontinuálním provozem. Aby zařízení fungovalo, musí být pás dokonale vypraný.

Výhodou je široké použití a jednoduchá obsluha. Mezi nevýhody patří vznik zápachu a vlhkosti v provozní místnosti a nízký obsah sušiny získaného kalu. [8]

3.4.3 Kalolisy

Kalolis neboli tlakový komorový lis, je filtrační zařízení, které pracuje na tlakovém principu. Kal je čerpán do komor lisu, ve kterých je podroben tlaku 1 – 2 MPa. Působením tlaku je voda filtrována přes filtrační plachetku. Při plnění kalolisu se od sebe filtrační desky oddálí, vytvoří tak komory. Do komor je přiváděn stabilizovaný kal s flokulantem. Po zapnutí tlakového režimu se komory stlačují, voda je filtrována přes plachetky jako tzv. filtrát a po té je odváděna. V komorách zůstává odvodněný kal. Po uvolnění tlaku a následném oddělení filtračních desek odpadá pomocí gravitační síly jako tzv. kalový koláč. Po každém cyklu se musí kalolis očistit. Odvodněný kal má obsah sušiny 35 – 45 hmot%. Nevýhodou je časté přilnutí kalového koláče k plachetce, vysoké investiční náklady a velké požadavky na obsluhu. [8]

3.4.4 Odvodňovací odstředivky

Odstředivky jsou dalším zařízením, které je používáno pro zahuštění ale především i pro odvodnění kalů. Stupeň odvodnění bývá nižší než u sítopásových lisů. Je nezbytné použití flokulantů. Principem odvodňování je separace pevných částic kalu pomocí odstředivé síly v rotujícím bubnu. Využívá se rozdílné hustoty vody a částic kalu. Do otáčejícího se vnitřního bubnu je přiváděna potrubím suspenze. Suspenze je usměrněna k plášti vnějšího bubnu. Jelikož na kal působí odstředivá síla otáčejícího se vnitřního bubnu, těžší částice jsou usazovány na povrchu vnějšího bubnu, odkud je kal šnekem posouván do kuželové části bubnu a dále ven z odstředivky. Vnitřní buben se se šnekem otáčí stejným směrem jako vnější, mají ale jiné otáčky. Kapalina, která je odstředěná (fugát) je vytlačována do sběrače kontinuálně přiváděnou suspenzí přes otvory, které jsou v čele bubnu, potrubím se odvádí ven z odstředivky. Kal má většinou obsah sušiny 20 – 25 hmot%. Provoz odstředivek je nepřetržitý. Mezi výhody patří malé nároky na prostor a jsou vhodné i z hygienického hlediska. [8]

3.4.5 Termické sušení

Sušením při teplotách vyšších než 100 °C lze z kalu odstranit převážnou část vody. V rotačních bubnových sušičkách je využíváno přímého kontaktu sušeného kalu s horkým vzduchem. Tímto je možné dosáhnout sušiny kalu až 95 hmot%. Před vlastním sušením je vhodné kal maximálně odvodnit. Termické sušení je energeticky náročné. Je proto málo používán. [11]

3.5 Hygienizace a stabilizace kalu

Jedná se o proces, kdy jsou vytvořeny podmínky, ve kterých nejsou schopny mikroorganismy přežít. V kalu pak neprobíhá žádný rozklad, neobsahuje patogenní organismy a nezapáchá. Je nutné, aby proběhl také proces stabilizace. Významnou hygienizační termickou metodou je pasterizace. Mezi další metody patří kompostování, sušení a pyrolýza, založené na tepelné úpravě kalu. Dalšími využívanými metodami jsou chemická hygienizace kalu vápnem a radiační metody. [3]

Stabilizovaný kal, je kal podrobený biologické, chemické, tepelné úpravě nebo jinému vhodnému procesu, tak aby se snížila zdravotní rizika spojená s jeho využitím a nepodléhal intenzivnímu rozkladu. [10]

Proces, který upravuje konečné vlastnosti kalu, nazýváme stabilizací. Kal pak nepodléhá samovolnému rozkladu. Jedná se o biochemický postup snižování obsahu zbytku rozložitelných organických látek. Tímto se zmenší celková koncentrace organické složky v kalu. V provozní praxi býval za stabilizovaný kal považován kal, který obsahoval 50% podíl organické složky, stanovený jako ztráta žíháním. Při posouzení, zda je kal stabilizovaný se musí brát v úvahu také doba, po kterou už nebyl v přímém kontaktu s čerstvým substrátem. [8], [26]

3.5.1 Rozdělení metod hygienizace a stabilizace kalu

Podmínky pro přežití patogenních organismů jsou v průběhu čištění odpadních vod a zpracování kalu nepříznivé. Proto dochází k jejich snížení v každém stupni procesu čištění. K hygienizaci se můžou použít všechny metody, u kterých dochází k usmrcování mikroorganismů. [10]

Rozdělení technologických procesů:

Vyspělé procesy hygienizace kalu:

- Sušení kalu při teplot nad 80 °C
- Autotermní aerobní termofilní stabilizace kalu
- Pasterizace
- Chemické metody
- Spalování

Konvenční procesy hygienizace kalu:

- Anaerobní mezofilní a termofilní stabilizace
- Aerobní stabilizace kalu
- Termická kondicionace kalu
- Kondicionace kalu vápnem
- Odvodňování kalu na kalových polích a lagunách
- Kompostování [10]

3.6 Následné nakládání s kalem z ČOV

Stabilizovaný a odvodněný kal je potřeba z čistírny odstranit. Nejlepším řešením je jeho další využití, nejčastěji v zemědělství. Kal je možný zpracovávat těmito způsoby:

- Skládkování
- Zpracování do stavebních materiálů,
- Spalování
- Využití v zemědělství jako hnojiva
- Využití v zemědělství pro kompostování [4]

3.6.1 Skládkování kalu

Pro skládkování se používá jen stabilizovaný a odvodněný kal, musí být minimalizován jeho objem. Kal se ukládá na skládky komunálního odpadu, musí ale splňovat všechny legislativní požadavky. Typ skládky, na který může být kal uložen, se určuje podle vhodného výluhu z kalu. Snížení vyluhovatelnosti můžeme dosáhnout zpevnění kalu (silifikace). Pomocí matrice je původně tekutý kal převeden na pevný.

Matrice je anorganická nebo organická látka, která je hydraulicky vazebná např. elektrárenský popílek). Matrice reaguje s vodou v kalu. Nežádoucí látky jsou v něm pevně vázány, dochází ke srážení, fixaci a roste pH. Rostoucí pH má za důsledek ničení patogenů. Kal má drobivou, homogenní konzistenci a obsaženou vodou je pevně vázán. Neuvolňuje zápachající látky. Silifikací se po přidání matrice zvýší objem kalu. Vlastnosti však umožňují uložení kalu na skládku. [8]

3.6.2 Zakomponování kalu do stavebních materiálů

Určité kaly se můžou v omezeném množství přidat do různých stavebních materiálů. Kal s vysokým obsahem hydroxidu těžkých kovů je možné přidávat do materiálů pro výrobu cihel nebo lze kal spalovat v cementářských pecích. Když se tento materiál zpracovává při vysokých teplotách, dochází ke spálení organických látek, anorganický podíl zůstává ve stavebním materiálu. Je nutno dbát na vhodné množství kalu a kvalitu produkovaných exhalátů. Exhaláty by mohly poškodit ŽP. [3]

3.6.3 Spalování kalu

Jedná se o účinnou metodu finální likvidace kalu, hlavně pro kaly, které obsahují vysoký podíl organických látek. Kal se musí před spalováním odvodnit. Odvodňování se provádí nejčastěji sušením. Organická hmota je oxidována na CO_2 a H_2O . Voda je vypařena. Patogeny jsou zničeny díky vysokým teplotám. Spalování může probíhat např. na spalovnách komunálního odpadu, na spalovnách kalů, teplárnách, elektrárnách a cementárnách. Popel pak bývá ukládán na skládku. Při spalování je nevýhodou tvorba exhalátů. Exhaláty musí být kvalitně čistěny. [3]

3.6.4 Využití kalu v zemědělství jako hnojiva

Tento způsob likvidace kalů je nejrozšířenější. Přítomnost hnojivých látek (N, P, organická hmota) v některých druzích kalu, dává podnět k jejich využití pro hnojivé účinky. Stanovené kritéria pro aplikaci kalů:

- mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě (těžké kovy, AOX, PCB),
- mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v kalu,
- mikrobiologická kritéria pro použití kalů,

- povinnost producenta kalu zpracovat program použití kalu,
- podmínky minimálního obsahu sušiny v tekutém i odvodněném kalu. [4]

Riziková látka	Maximální hodnoty koncentrací v kalech (mg na 1000 g sušiny)
As - Arsen	30
Cd - Kadmium	5
Cr - Chrom	200
Cu - Měď	500
Hg - Rtuť	4
Ni - Nikl	100
Pb – Olovo	200
Zn - Zinek	2 500
AOX	500
PCB	0,6

Tabulka 6: Mezní hodnoty koncentrací rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě [4]

Čistírenské kaly, které jsou stabilizované, se využívají k hnojení v tekutém až mírně zahuštěném stavu nebo odvodněné, odvodněné a vysušené. Vždy je nezbytná hygienizace. Využití stabilizovaných čistírenských kalů pro hnojení zemědělských půd je vhodným ekonomickým řešením.

Výhodou využití kalů jako hnojivo je:

- recyklace odpadního produktu ČOV,
- zvyšování obsahu živin v půdě,
- zlepšení textury a sorpčních schopností půdy díky zvýšenému obsahu organických látek,
- podpora růstu rostlin.

Nevýhodou využití kalů jako hnojivo je:

- možnost zvýšení koncentrace nežádoucích látek v půdě,
- riziko přenosu patogenů na zvířata a člověka,
- zápach aplikovaných kalů díky rozkladu organických látek. [8], [20]

3.6.5 Využití kalu v zemědělství pro kompostování

Při kompostování dochází k částečnému rozkladu organické hmoty a její mikrobiální přeměně na hmotu humózního charakteru. Kal je smíchán s plnivem (sláma, piliny, větve apod.) za účelem:

- zvýšení objemu pórů kalu pro podporu provzdušňování směsi,
- snížení obsahu vody (vlhkost),
- zlepšení poměru obsahu uhlíku a dusíku.

Kompostovaný materiál obsahuje 60 % vody, množství vody se v průběhu procesu zmenšuje. Při mikrobiálních procesech se uvolňuje teplo. Teplota dosahuje 60 – 80 °C. Při této teplotě dochází ke zničení patogenů. Doba kompostování trvá 15 – 45 dnů, během této doby se provede stojní převrstvení, pro zajištění homogenizace materiálu, přístupu kyslíku a dosažení stejné teploty v celém objemu. Následuje pak další 30denní skladování při běžné teplotě, dochází ke stabilizaci produktu. Kompostování je prováděno v průmyslových kompostárnách. [4], [23],

Novela zákona č. 223/2015 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů a prováděcí vyhláška č. 437/2016 Sb., o používání kalů na zemědělské půdě, má vést ke zlepšení evidence kalů a celkové logistiky nakládání s kalem. [27], [29], [30]

Vyhláška upřesňuje nové povinnosti pro provozovatele ČOV a zařízení na úpravu kalů, skladování kalů v zařízení ke sběru a skladování odpadů a technické požadavky pro dočasné uložení upravených kalů v ČOV, u zemědělce a jejich použití na zemědělské půdě. Také stanovuje nároky na používání upravených kalů na zemědělské půdě. Neupravené kaly nebo kaly, které jsou svými vlastnostmi nevhodné pro použití na zemědělské půdě, by na ni neměly být aplikovány. [28], [30]

Jsou upravena mikrobiologická kritéria pro použití upravených kalů na zemědělskou půdu. Od 1. ledna 2020 bude možné na zemědělské půdy aplikovat pouze určitý kal kategorie I uvedený v tabulce č. 1 přílohy č. 4. vyhláška č. 437/2016 Sb., o používání kalů na zemědělské půdě. [28], [30]

Indikátorový mikroorganismus	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu		Limitní hodnota (nález/ KTJ*)
Salmonella spp.	nález v 50g	5		negativní
Escherichia coli nebo Enterokoky	KTJ* v 1 gramu	5	4	$< 10^3$
			1	$< 5 \cdot 10^3$

* KTJ - kolonie tvořící jednotku

Tabulka 7: Mikrobiologická kritéria pro použití upravených kalů na zemědělskou půdu od 1. ledna 2020 [30]

4 POSOUZENÍ KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČOV OPAVA

V Opavě byla uvedena do provozu první městská čistírna odpadních vod již ve třicátých letech 20. století. Postupem času byla rozšiřována a dále upravována. V roce 1967 ČOV prošla úplnou přestavbou. Nárůst počtu obyvatel a postupné připojování nových závodů na kanalizační síť vyžadoval další úpravy a intenzifikaci hlavně u biologické části zařízení. [6]

V osmdesátých letech i přes veškeré úpravy byla čistírna trvale přetěžována. Bylo nutné z těchto důvodů přistoupit k jejímu rozšíření a rekonstrukci. Projekt z roku 1989, který počítal s rozšířením na sousední pozemek, musel být kvůli změněným podmínkám, upraven. Pro rozšíření byly tedy využity jen prostory v areálu vlastní čistírny. [6]

Investorem vlastní výstavby je akciová společnost SmVak Ostrava a.s. . V dubnu roku 1995 byla zahájena první etapa rekonstrukce ČOV, ukončen byla 31. 12. 1996. Nově vybudované objekty byly uvedeny do zkušebního provozu. Druhá etapa pak byla dokončena 30. 6. 1997. Nová ČOV zahrnovala nově vybudované objekty, ale také část rekonstruovaných objektů. Všechny práce probíhaly za provozu ČOV. Musely být tak organizované, aby nebyla narušena její činnost. [6]

Od roku 1997 prošla ČOV mnoha rekonstrukcemi. Mezi nejvýznamnější patří:

- Rekonstrukce odvodňování a zahušťování kalu
- Rekonstrukce plynového hospodářství
- Instalace zařízení na chemickou eliminaci fosforu
- Rekonstrukce dosazovací nádrže na dešťovou zdrž
- Rekonstrukce biologického stupně čištění na kaskádovou aktivaci
- Rekonstrukce usazovacích nádrží
- Rekonstrukce plynojemu
- Instalace dekantační odstředivky
- Intenzifikace kalového hospodářství a navazující investice

Výsledkem je moderní čistírna odpadních vod. Opavě provoz přispěje ke zlepšení čistoty toku řeky Opavy. [6]

4.1 Původní kalové hospodářství ČOV Opava

Primární kal z usazovacích nádrží a přebytečný zahuštěný kal se sváděly do kalové čerpací stanice, ze které byly čerpány do tří vyhnívacích nádrží zapojených paralelně. Vyhnívání kalu probíhalo při teplotě 37 – 38 °C v mezofilní oblasti. Každá vyhnívací nádrž měla instalovaný spirálový tepelný výměník, který zajišťoval ohřev na požadovanou teplotu. Kal se ohříval nepřetržitě. Pomocí cirkulačních čerpadel bylo hydraulicky prováděno míchání obsahu. Vyhníly kal se odčerpával z vyhnívacích nádrží do uskladňovacích nádrží, ze kterých se kal přepouštěl do homogenizačních nádrží a byl následně linkou odvodňován. Šnekovým dopravníkem se odvodněný kal vynášel na nezakrytou skládku kalu. [6]

Kal se pak dále odvázel k dalšímu využití např. jako surovina pro výrobu rekultivačních substrátů. Vznikající bioplyn při vyhnívacím procesu byl odváděn z nádrží plynovým potrubím do plynojemu. Bioplyn je přednostně spalován v kogeneračních jednotkách pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. V plné míře je elektrická energie odebírána pro napájení technologických a provozních elektrozařízení čistírny. Tepelná energie se využije pro ohřev vyhnívacích nádrží a vytápění objektů v areálu čistírny. [6]

4.2 Technologická část

V současné době moderní mechanicko-biologická čistírna odpadních vod Opava zabezpečuje čištění nejen komunálních odpadních vod z Opavy, ale i odpadních vod z významných potravinářských a průmyslových podniků. Princip čistící technologie je založen na nízkozatěžované aktivaci s nitrifikací, předřazenou denitrifikací a biologickým odstraňováním fosforu. Kal je odvodňován na pásovém lisu s automatizovaným systémem řízení. [17]

Provoz splňuje přísné požadavky legislativy EU i České republiky na kvalitu čištěných vod. Dodržuje také limitní ukazatele celkového podílu dusíku ve vypouštěných vodách na úrovni pod 10,0 mg.l⁻¹. Čistírna má kapacitu podle ekvivalentních obyvatel 149 000. Za den dokáže vyčistit více než 21 000 m³ odpadních vod. [17]

4.2.1 Hrubé předčištění

Na čistírnu odpadních vod natéká odpadní voda přes odlehčovací komoru a lapák šterku do objektu česlovny. Zde voda protéká přes jemné česle, které jsou strojně stírány. Mají průliny 3 a 6 mm. Shrabky z česlí jsou lisovány pístovým lisem a propírány vodou. Gravitačně voda odtéká z česlovny do dvoukomorového provzdušňovaného lapáku písku. Písek, který je zachycen se následně separuje v separátoru písku. [17]

4.2.2 Mechanické předčištění

Dvě kruhové usazovací nádrže o průměru 25 m zajišťují proces mechanického předčištění. Celkový objem nádrží je 2 731 m³. [17]

4.2.3 Biologické čištění

Aktivaci tvoří dvě samostatné dvoukoridorové nádrže. První z nich tvoří rekonstruovaná původní aktivační nádrž (anaerobní část – 1000 m³). Čerpací stanice je mezi rekonstruovanou a novou aktivační nádrží. Voda je zvedána do výše 5 m, tak aby průtok z druhé aktivační nádrže byl gravitační a nedocházelo ke vnikání vody z recipientu do ČOV. Druhá aktivační nádrž, která byla nově vybudována, zahrnuje anaerobní část (2500 m³), anoxickou – denitrifikační (2000 m³) a oxickou – nitrifikační (6500 m³). Vzduch je dodáván pomocí pěti dmychadel. Anaerobní část je osazena osmi míchadly. Voda je z aktivace vedena do dvou dosazovacích nádrží. Mají průměr 33 m, hloubku 4,4 m a celkový objem 7 500 m³. [17]

4.2.4 Další úpravy □

Na VN III byly provedeny výměny a úpravy trubního vystrojení komory, opravy vrchlíku, výměny víka a jímacího plynového zařízení. □

V mezofilním procesu jsou nyní provozovány VN I, VN II a VN III.

Vybudování nových propojovacích potrubí mezi VNI° a VN III, VN I a VN II v souladu s novou koncepcí technologie anaerobní stabilizace a vytvoření možnosti cirkulace mezofilního kalu mezi jednotlivými nádržemi. Provedení úprav v čerpací stanici surového kalu, i včetně instalace výkonných objemových čerpadel směsného kalu. □

Na čistírně byly upraveny tepelné rozvody. Všechny zdroje tepla jsou teď napojeny na nový ústřední tepelný rozdělovač. Tepelný rozdělovač zásobuje teplem provozní budovu i ostatní objekty, které je nutné vytápět v zimním období.

Za účelem likvidace přebytečného bioplynu bylo instalováno zařízení pro jeho likvidaci.

Hygienizaci kalů a zároveň zvýšení kapacity kalového hospodářství zajišťuje nové technologické uspořádání. [6]

4.2.5 Kalové hospodářství

Linku kalového hospodářství tvoří tři vyhnívací, dvě uskladňovací a dvě homogenizační nádrže. Vyhnílý zahuštěný kal je odvodňován na pásovém lisu. Zpevněná skládka slouží pro přechodné uskladnění. [17]

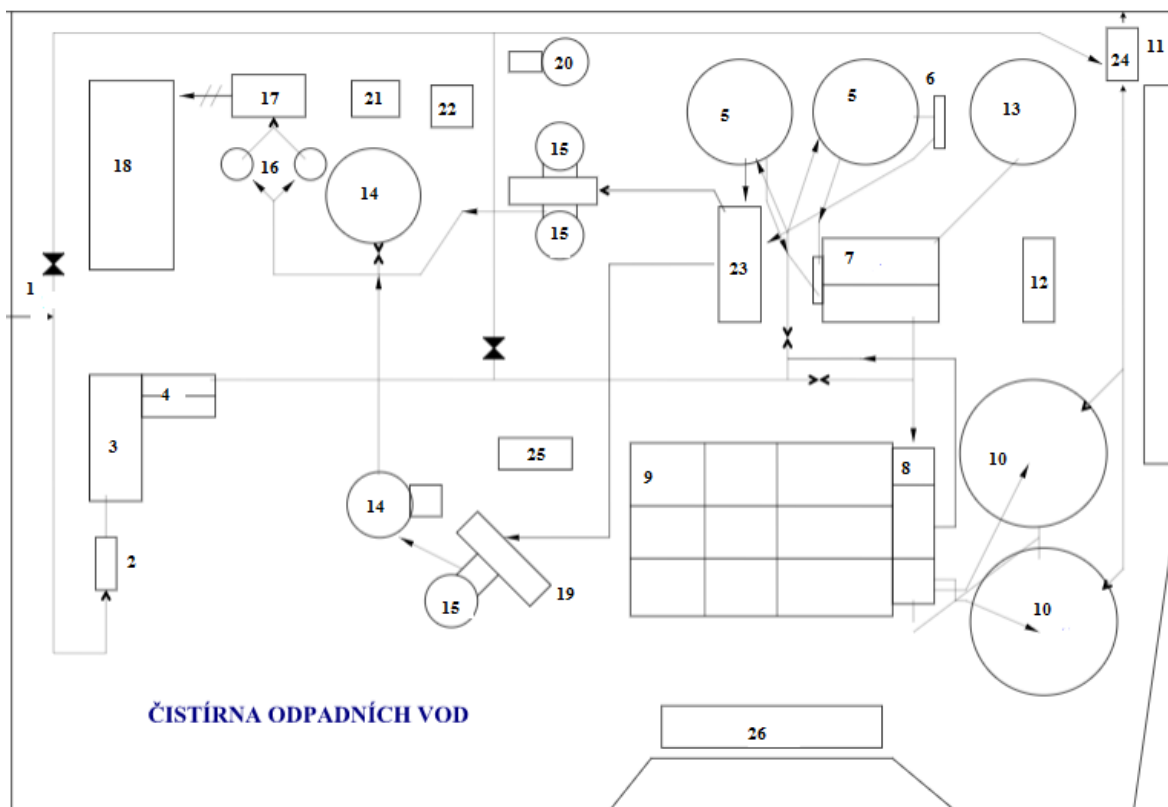
4.2.6 Plynové hospodářství

Vzniklý bioplyn při anaerobním vyhníváním kalu, se jímá v mokřém plynojemu. Objem plynojemu je 300 m³. Plyn se využívá:

- pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla,
- pro výrobu tepla v plynových kotelnách,
- pro míchání kalu ve vyhnívacích nádržích. [17]

4.2.7 Systém řízení technologických procesů

Ve velínu se nachází řídicí centrum ČOV. V provozní budově je nainstalováno další počítačové stanoviště, které slouží pracovníkům čistírny ke sledování chodu technologie. Okamžité hodnoty dat jsou přímo z provozu přenášeny do obou center. Řízení nitrifikace zajišťují kyslíkové sondy, denitrifikace je řízena pomocí analyzátoru. [17]



Obrázek 2: Schéma ČOV Opava [6]

- | | |
|--|--|
| 1. Přívodní stoka | 14. Uskladňovací nádrže 2 |
| 2. Lapák písku | 15. Vyhnívací nádrže 3 |
| 3. Budova hrubého předčištění | 16. Homogenizační nádrže 2 |
| 4. Provzdušňovaný lapák písku | 17. Mechanické odvodnění kalu |
| 5. Usazovací nádrže | 18. Zpevněná skládka kalu |
| 6. Jímka surového kalu | 19. Energetické využití jalového plynu a kotelna |
| 7. Aktivace – anaerobní zóna | 20. Plynojem |
| 8. Čerpací stanice aktivační směsi a vratného kalu | 21. Plynová kompresorovna |
| 9. Aktivace – anaerobní a nitrifikační zóna | 22. Trafostanice s rozvody |
| 10. Dosazovací zdrž | 23. Kalová čerpací stanice |
| 11. Odtok z ČOV | 24. Povodňová čerpací stanice |
| 12. Dmychárna | 25. Velín |
| 13. Dešťová zdrž | 26. Provozní budova |

Hodnoty	2016		2017	
	Na přítoku:	Na odtoku:	Na přítoku:	Na odtoku:
BSK5	274,4	2,9	301,2	2,5
CHSK	527,3	25,0	514,4	24,0
Ncelk.	43,9	11,7	39,0	9,1
Pcelk.	5,6	1,0	5,7	0,8

Tabulka 8: Roční vyhodnocení

Porovnáním výsledků na přítoku a odtoku vidíme, že v procesu dochází k čištění vody na kvalitu, která umožňuje vyčištěné odpadní vody vypouštět do vodoteče. Tyto hodnoty stanovuje *nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*. [22]

4.2.8 Oblasti investice

Výstavba nové vyhnívací nádrže o objemu 2 000 m³ pro kal vznikající v procesu čištění odpadních vod.

Rekonstrukce trubních rozvodů plynu a vystrojení vyhnívacích nádrží. [6]

4.2.9 Náklady

Investiční náklady na výstavbu vyhnívací nádrže činily 41,5 milionu korun. Náklady na rekonstrukci trubních rozvodů plynu a vystrojení vyhnívacích nádrží, jejichž cílem byla výměna a zkapacitnění bioplynových trubních vedení všech jímacích a přírodních tras bioplynu v areálu čistírny odpadních vod a rekonstrukce strojovny plynojemu, byly více než 9,5 milionu korun. [6]

4.2.10 Rekonstrukce kalového hospodářství, včetně navazující technologie plynového hospodářství □

Koncem roku 2015 bylo přistoupeno k realizaci stavby. V místě původní uskladňovací nádrže s objemem 800 m³ byla vybudována nová vyhnívací nádrž prvního stupně se strojovnou pro intenzifikaci kalového hospodářství. Tato nádrž o objemu 2 000 m³, ve které probíhá při teplotě 55 °C termofilní proces vyhnívání, je přesunuta

před stávající vyhnívací nádrže. Stávající nádrže jsou i nadále využívány pro mezofilní proces vyhnívání při teplotě 38 – 40 °C.

Čistírna po rekonstrukci disponuje dvěma původními vyhnívacími nádržemi o objemu 800 m³ (VN I/VN II), jednou nádrží, které byla také původní o objemu 1000 m³ (VN III) a s novou nádrží VN I° s objemem 2 000 m³. V současnosti tak celkový objem vyhnívacích nádrží činí 4 600 m³. [6]

Systém, který zpracovával kaly, přešel z původního procesu jednostupňového do procesu s tepelným fázováním. Do původní vyhnívací nádrže (VN III) o objemu 1000 m³ byl zabudován nový tepelný výměník. Výměník slouží pro přehřev surového kalu čerpaného do nové nádrže a také k ochlazení kalu z termofilního reaktoru posledního stupně vyhnívání kalu a jeho následný odtah do VN I/VN II. Tady pak probíhá přestup tepla ve formě kal/kal. [6]



Obrázek 3: Biologické čištění [16]

4.2.11 Důvody investice □

Před investicí byla kapacita kalového hospodářství plně využita. Tři vyhnívací nádrže o celkovém objemu 2 600 m³ byly přetížené. VN měly krátkou dobu zdržení kalu, nedostatečný stupeň odbourání organické sušiny a neumožňovaly dostačující hygienizaci kalu, tzn., kal nebyl zbaven patogenních organismů. Původní nádrže by neměly dostatečnou kapacitu, očekávalo se zvýšení produkce znečištění díky rozšíření výroby potravinářského průmyslu. [6]

Byla zpracována technicko-ekonomická studie hygienizace kalů. Na základě souhrnných výsledků studie byla vybrána varianta hygienizace kalu termofilní stabilizací, která umožňuje lepší využití stávajících zařízení, odstranění přetížení reaktorů, lepší využití surového kalu a dosažení lepší stabilizace. [6]

4.3 TERMOFILNÍ PROCES A SYSTÉM TEPELNÉHO FÁZOVÁNÍ ANAEROBNÍ STABILIZACE KALU

ČOV Opava od roku 1996 prošla několika zásadními rekonstrukcemi. Účelem bylo zajistit kvalitu vyčištěných vod na požadavky legislativy. Mechanický a biologický stupeň byl vybaven účinnou technologií. Modernizováno bylo plynového hospodářství, kogenerační jednotky a odvodňování kalů. V původním uspořádání zůstalo z 60. a 70. let minulého století kalové hospodářství. [6]

Technologie zajišťovala anaerobní stabilizaci kalů v jednostupňovém uspořádání. Byla provozována v mezofilní oblasti (36 – 39 °C). Ve třech vyhnívacích komorách probíhala stabilizace, což pro nové podmínky nebylo vyhovující. Soustava vyhnívacích nádrží byla přetěžována, nebylo dostatečné snížení organického podílu kalové sušiny, vyskytovaly se poruchy při míchání a ohřevu nádrží a tendence pěnění. Vyhnílý kal měl vysoké mikrobiologické ukazatele. Kal obsahoval vysoký zbytkový podíl organické sušiny (průměrně 62%), odvodňování a hygienické zabezpečení bylo problematické. [18]

Zvyšováním stupně zahuštění primárního i přebytečného kalu se nepřinášely dostatečně uspokojivé výsledky. Očekával se nárůst zatížení ČOV i linky kalového hospodářství, kvůli rozšíření výroby v místní čokoládovně a proto se hledal způsob účinné intenzifikace kalového hospodářství. [18]

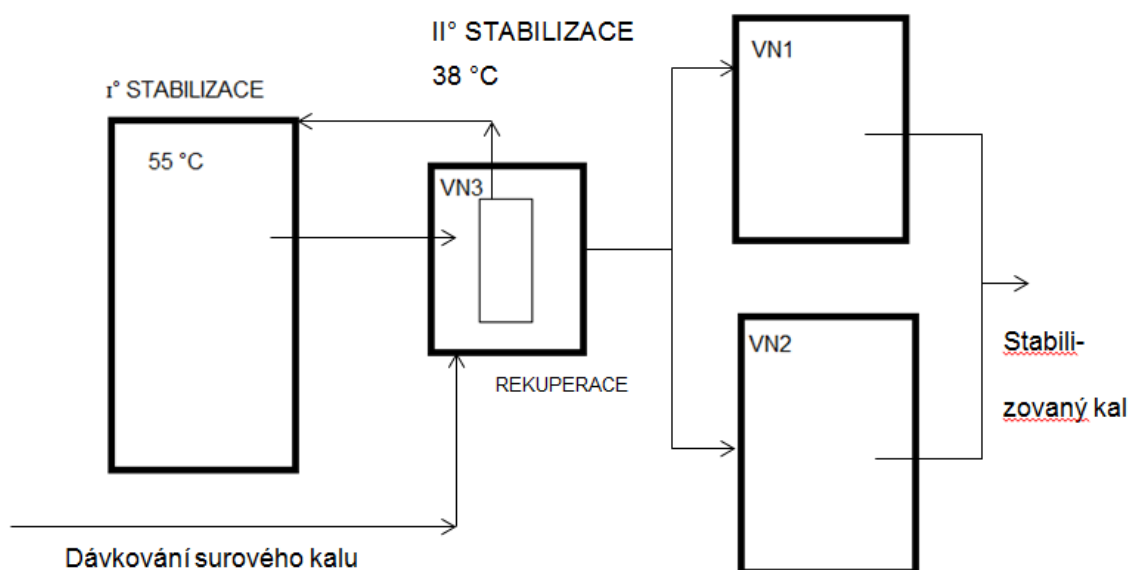
4.3.1 SPECIFIKACE NOVÉHO ŘEŠENÍ

Metoda termofilního procesu stabilizace se z pohledu provozovatele jevila jako varianta slibující účinnou odezvu na problematiku kalového hospodářství. S termofilním procesem je spojována vyšší rychlost a účinnost redukce organické sušiny upravovaných kalů a lepší schopnost inaktivace patogenních mikroorganismů. Tři původní vyhnívací nádrže byly ponechány v mezofilní oblasti teplot a byly zařazeny jako druhý stupeň stabilizace. Jednostupňový původní stupeň mezofilní stabilizace byl převeden na anaerobní stabilizaci kalu s tepelným fázováním. Mezofilní nádrže jsou řazeny dvoustupňově. [18]

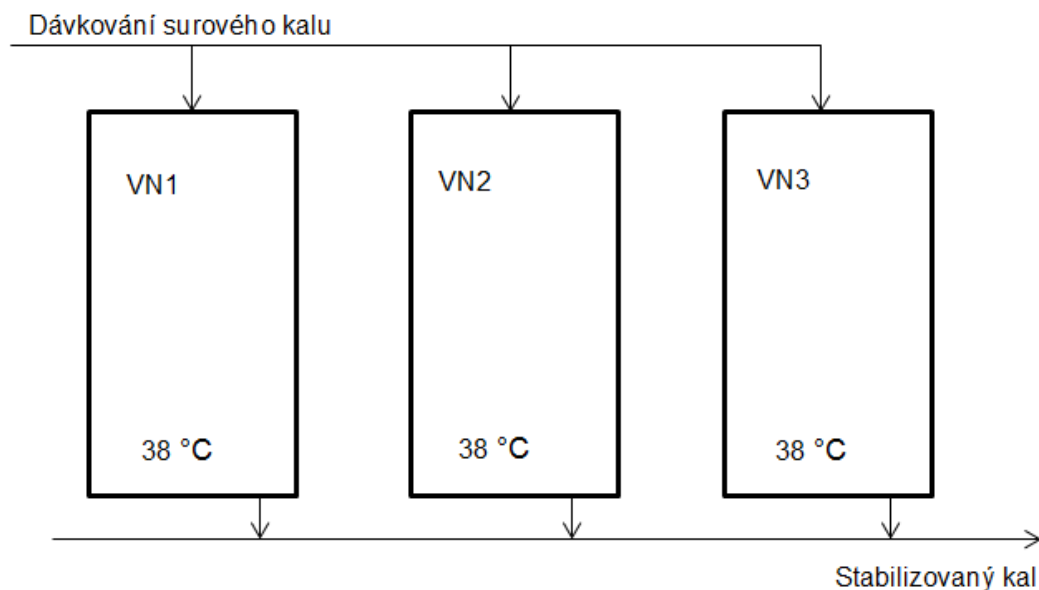
Termofilní anaerobní proces probíhá při teplotě okolo 55 °C. Hlavním přínosem termofilní teploty při zpracování kalu je vyšší rychlost snižování obsahu pevných látek. Doba zdržení v termofilní nádrži je delší, dochází ke vzájemnému ovlivnění a spolupráci obou jednostupňových procesů, které pracují při odlišných teplotách a mají rozdílné výsledky. Kombinace mezofilních i termofilních podmínek v jedné kalové lince může být výhodou obou procesů. [18], [24]

4.3.2 Popis nové anaerobní stabilizace s tepelným fázováním

Primární, přebytečný zahuštěný kal i externí substrát jsou přiváděny do směsné jímky, následně jsou čerpány do termofilní VN I°. [18]



Obrázek 4: Blokové schéma anaerobní stabilizace s tepelným fázováním po rekonstrukci [18]



Obrázek 5: blokové schéma jednostupňové mezofilní stabilizace před rokem 2017 [18]

Aby se zabránilo riziku rekontaminace, je u termofilní nádrže fáze odběru kalu časově předřazena fázi plnění surového kalu. Tím je zaručena minimální doba expozice patogenů inhibiční teplotou 55 °C po dobu cca 2 hod. [18]

Nová technologie řeší rekuperace tepla. Pro ochlazení kalu byla jedna z trojice původních mezofilních nádrží vystrojena trubkovým tepelným výměníkem. Výměník je instalován na vnitřní stěně vyhnívací nádrže VN 3. Do termofilního stupně je surový kal čerpán ve dvou krocích. Výměník je naplněn studeným kalem, teplá strana výměníku mezofilním kalem ohřívána v komoře. Dalším krokem je vytlačení předeřátého kalu do termofilní VN I°. Kal z VN 3 je poté přepouštěn do zbývajících mezofilních nádrží. Vyhnívací nádrže jsou vybaveny hydraulickým mícháním. Je používáno čerpadlo s tzv. malým cirkulačním okruhem s tepelným výměníkem voda – kal. Mezofilní nádrže si setrvačností udržují vyhovující procesní teplotu. Míchání bioplynem je instalováno i u termofilního stupně. Řízení zajišťuje komplexní řídicí systém. [18]

	Jednotka	I (2015)	II (2017)
Návrhová kapacita	EO	149 000	
Skutečné zatížení	EO	71 636	
Typ anaerobní stabilizace		mezofilní	Termof./mezof.
Počet stupňů		1	2
Posuzované období		05/15 – 08/15	05/17 – 08/17
Počet vyhnívacích nádrží		3 mezof.	1 termof. + 3 mezof.
Pracovní objem VN	m ³	2 240	4 600
Z toho mezofilní VN	m ³	2 240	2 600
Z toho termofilní VN	m ³	-	2 000
Pracovní teplota - průměr	°C	38,9	55,0/39,2
Množ. zprac. kalu	m ³ .d ⁻¹	129	127
Celková doba zdržení	d	17,4	36,2
Doba zdržení v termof. stupni	d	-	15,7
Bilance rozkladu organické sušiny			
Vstupní org. sušina - průměr	Kg _{org.suš.} /d	4178	4143
Organická sušina do 2° - průměr	Kg _{org.suš.} /d		2071
Výstupní organická sušina - průměr	Kg _{org.suš.} /d	2121	1649
Stupeň odbourání org. suš. v termof.	%	-	50,0
Stupeň odbourání org. suš. v mezof.	%	49,2	20,4
Stupeň odbourání org. sušiny - celkem	%	49,2	60,2
Látkové zatížení termof. VN	Kg _{org.suš.} /m ³ .d	-	2,1
Látkové zatížení mezof. VN	Kg _{org.suš.} /m ³ .d	1,9	0,8
Kvalita vyhnílého kalu			
Sušina kalu	%	2,66	2,31
Org. podíl v sušině	%	61,1	55,1

pH		7,1	7,3
Mastné kyseliny	mmol.l ⁻¹	4,5	4,0
Produkce bioplynu	m ³ .d ⁻¹	2 390	2 640
Specif. produkce BP na přived. org. hmotu	l.kg ⁻¹	572	637
Specif. produkce CH ₄ na přived. org. hmotu	l.kg ⁻¹	343	391
Kvalita bioplynu			
methan	%obj.	60,0	61,3
CO ₂	%obj.	35,8	35,7
N ₂	%obj.	2,3	2,1
H ₂ S	mg.m ⁻³	318,0	218,0
H ₂ O	g.m ⁻³	18,5	64,5
Kvalita kalové vody			
Množství kalu k odvodnění	m ⁻³ .d ⁻¹	120	111
CHSK	mg.l ⁻¹	954	1 393
N-NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	656	874
Kvalita odvodněného kalu			
Množství	t.d ⁻¹	16,4	11,9
Sušina odvodněného kalu	%	22,6	26,0
Spotřeba flokulantu	g/kg	6,9	15,1
Energetické bilance ČOV			
Vlastní spotřeba	kWh.d ⁻¹	4 038,4	4363,9
Spotřeba z externí sítě	kWh.d ⁻¹	1198	1103,8
Dodávka do externí sítě	kWh.d ⁻¹	124	243,4
Spotřebovaná energie celkem	kWh.d ⁻¹	5236	5468
Podíl vlastní výroby na celkové spotřebě		79,5%	84,3%

Tabulka 9: Porovnání původní mezofilní stabilizace a současné kombinované termofilní/mezofilní stabilizace [18]

5 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH PODKLADŮ

5.1.1 První zkušenosti a výsledky

Srovnávací období, vůči kterému budou výsledky vztaženy je 6 – 8 měsíc roku 2015. [18]

Účinnost rozkladu organických látek

Stupeň odbourání organické sušiny kalu v termofilním stupni činil 50,0 %. Doba zdržení byla 15,7 dnů. Ve stejném období dosahovala jednostupňová mezofilní stabilizace 49,2 %. Doba zdržení byla 17,4 dnů. Zvýšila se tedy úroveň rozkladu organických látek, ale toto porovnání se nejeví jako významné. [18]

Druhý mezofilní stupeň stabilizace při době zdržení 20 dnů vykazoval cca 20 % snížení organických látek. Jedná se o hodnotu nižší, než byla předpokládána. [18]

V součtu obou stupňů stabilizace bylo dosaženo odstranění sušiny 60,2 %. Došlo k výraznější změně vzhledem k původní úrovni stabilizace 49,2 %. Při zvýšeném odstranění organických látek se zvýšila i účinnost odvodnění kalu. [18]

Hygienizační efekt

Důvodem pro výstavbu termofilní nádrže byl hygienizační efekt, díky vyšší provozní teplotě. [18]

Odebíraný kal z obou stupňů stabilizace vykazuje v současné době pokles vybraných patogenních mikroorganismů. Analýzy ale doposud vykazovaly vysoký obsah Enterokoků. Hygienizace kalu v termofilních podmínkách a zamezení jeho rekontaminace se jeví jako nedostačující. Je nutné tedy zajistit další opatření a zabránit rekontaminaci již hygienizovaného kalu. [18]

Energetická bilance a soběstačnost ČOV

Rozšíření technologie termofilní anaerobní stabilizace a nové strojní zařízení přineslo vyšší spotřebu energie. Spotřeba oproti původnímu uspořádání vzrostla o 55 %. Díky vyšší produkce bioplynu byla vykázána nadvýroba vlastní elektrické energie (445 kWh za den). Podíl vlastní výroby elektrické energie a celkové spotřeby ČOV v posuzovaném období

v roce 2017 činil 84,3 %, v roce 2015 79,5 %. Podíl vlastní výroby elektrické energie tedy vzrostl o 4,8 %. [18]

Pěnění digestátu a provozní potíže s mezofilní stabilizací

Jednou z obtíží v minulých obdobích bylo při mezofilní stabilizaci pěnění digestátu. Pěnění bylo v podstatě setrvalé, což vyžádalo se ze strany provozovatele opatření. Jednalo se o snížení provozních hladin ve všech mezofilních nádržích, aby byl vytvořen rezervní prostor pro narůstání pěny. [18]

V novém uspořádání došlo ihned po stabilizaci termofilního procesu k poklesu pěn na neměřitelné úrovni. [18]

Kvalita kalu a jeho odvodnitelnost

Došlo ke snížení organického podílu stabilizovaného kalu z 61 % na současných 55 %, což ukazuje na lepší separační vlastnosti kalu. Prozatím k tomu dochází za cenu zvýšení přídatku flokulantu. [18]

6 SHRnutí ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Z pozorování dosavadních výsledků termofilního procesu vyplývá nárůst stupně redukce organického podílu kalu. Nárůst v součtu obou stupňů stabilizace je o 11%. Dochází také k nárůstu bioplynu a snížení zbytkového podílu organické sušiny stabilizovaného kalu z 61,1 na 55,1 %. Snížila se také hmotnostní produkce stabilizovaného čistírenského kalu o více než 20 %. Zvyšuje se i obsah kalové sušiny v odvodněném kalu až na 27 %, tedy o 4,5 %. Spotřeba elektrické energie se zvýšila. ČOV vlivem zvýšení vlastní výroby elektrické energie má ale celkově příznivější energetickou bilanci a to o 4,8 % na současných 84,3 % z celkové spotřeby ČOV. [18]

Odebíraný kal z obou stupňů stabilizace vykazuje potlačení mikroorganismů, jako jsou enterokoky, termotolerantní koliformní bakterie a Salmonella. [18]

Eliminovali se jakékoli potíže s nestabilitou termofilního procesu i celkové provozu stupně stabilizace. V lince anaerobní stabilizace se podařilo eliminovat díky kombinací obou teplotních oblastí některé dřívější nevýhody jako je pění, problém při míchání a ohřevu. [18]

Mezofilní proces ale nedokázal potlačit nevýhody v podobě zhoršení kalové vody a zvýšenou spotřebu flokulantu při odvodňování. [18]

Všechny výsledky se vztahují ke zkušebnímu provozu, lze proto očekávat další vývoj. Definitivní závěry lze prezentovat až po delším období provozních zkušeností. [18]

7 ZÁVĚR

Uznávaným faktem je, že neexistuje žádná univerzální metoda pro využití, zpracování a odstranění čistírenských kalů. Způsoby zpracování kalů jsou závislé na místních podmínkách dané lokality. Dále na chemických, fyzikálních a biologických vlastnostech.

Kaly představují cca 1 – 2 % objemu čistěných vod. V tomto objemu je přeměněno asi 50 – 80% primárního znečištění, proto se zpracování a využití kalů stává jedním z prvořadých problémů čištění odpadních vod.

Zpracování kalu je velmi nákladné, představuje 40 – 50 % z celkových nákladů na čistírně odpadních vod. Produkované množství kalu závisí hlavně na kanalizační síti a použité technologii čištění odpadních vod.

Negativně hodnoceným způsobem likvidace kalů je skládkování. Nastávají problémy s objemem odpadů a rizika zabezpečení skládek. Šetrnějším způsobem využívání čistírenských kalů je kompostování nebo využívání kalů pro hnojivé účinky, kde je ale negativním faktorem přítomnost škodlivých látek. Limitní koncentrace těchto škodlivých látek nesmí být překročeny.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí práce paní doc. Ing. Silvie Heviánková Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, zejména za ochotu a trpělivost. Dále pak i vedoucímu provozu ČOV oblasti Nový Jičín a Opavy Ing. Zbyňku Skybovi a hlavnímu technologovi Ing. Marku Hoppovi ze společnosti Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava za poskytnuté materiály a informace z provozování technologií na ČOV Opava.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LYČKOVÁ B., FEČKO P., KUČEROVÁ R.: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. Zpracování kalů [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/info.html>
- [2] Houdková, L. Efektivní využití čistírenských kalů. Brno, 2009. 104 s. Disertační práce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě strojního inženýrství na Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.
- [3] KRŇÁVEK, Břetislav, FOLLER, Jan, MACHALA, Martin. Čištění odpadních vod. [s.l.] : [s.n.], 2006. 95 s.
- [4] PYTL, Vladimír, a kol.. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. Praha : Medim spol.s.r.o., 2004. 209 s. ISBN 80-239-2528-8.
- [5] Základní schéma kalového hospodářství na ČOV. In: Zpracování kalů [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/>
- [6] ČOV Opava: Intenzifikace kalového hospodářství [online]., 2-4 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/documents/20182/64087/SmVaK%20%20C4%8COV%20Opava%20%20rekonstrukce%20kalov%C3%A9ho%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD.pdf/ecacf5bf-436a-41ad-8b97-620f65fa9775>
- [7] Vyhláška č. 123/2012 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových
- [8] MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-05-3.
- [9] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. Mikrobiologie v technologii vod. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-676-0.
- [10] Odvětvová norma vodního hospodářství: Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod. Hydroprojekt CZ a.s., Praha : [s.n.], 2004. 15 s.
- [11] DOHÁNYOS, Michal, Jan KOLLER a Nina STRNADOVÁ. Čištění odpadních vod. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1998. ISBN 80-7080-316-9.
- [12] ČERNÝ, Jindřich: Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. <http://biom.cz/cz/projekty/konference-racionalni-pouziti-hnojiv-2009>
- [13] Směrnice Rady 86/278/EHS ze dne 12. června 1986 o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství, ve znění směrnice 91/692/EHS a nařízení č. 807/2003
- [14] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- [15] Vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě
- [16] SmVak: Čistírna odpadních vod Opava [online]. In: . [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/provozy/cov-opava>
- [17] SmVak Ostrava a.s. Čistírna odpadních vod v Opavě: Technologická část. Ostrava

- [18] HOPP, Ing. Marek a Ing. Zbyněk SKYBA. Sborník referátů konference Provoz vodovodů a kanalizací: Zkušenosti se zahájením provozování termofilního procesu a systému tepelného fázování anaerobní stabilizace kalu na ČOV Opava., 128-136
- [19] Huber CS spol. s.r.o [online]. 2007 [cit. 2007-01-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.hubercs.cz/index.php/public/aktuality.php>>
- [20] Moreira R., Sousa J.P., Canhoto C., 2008. Biological testing of a digested sewage sludge and derived composts. *Bioresource Technology*, 99(17): 8382-8389.
- [21] Composition of Waste Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant. In: ScienceDirect [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029612003738>
- [22] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech
- [23] Ing. Jaroslav Váňa, CSc. Kompostování čistírenských kalů. Biom.cz [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-cistirenskych-kalu>
- [24] ZÁBRANSKÁ J., DOHÁNYOS M., JENÍČEK P., KUTIL J. (2000): Thermophilic process and enhancement of excess activated sludge degradability - two ways of intensification of sludge treatment in the Prague Central Wastewater Treatment Plant. *Wat. Sci. Tech.*, 41(9), 265-272
- [25] Activated Sludge Process. IWA publishing [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.iwapublishing.com/news/activated-sludge-process>
- [26] Sludge stabilization. Ontario [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.ontario.ca/document/design-guidelines-sewage-works/sludge-stabilization>
- [27] Kaly a sedimenty. Vodní hospodářství [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/kaly-a-%E2%80%AFsedimenty/>
- [28] Nová legislativa: Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě Více zde: <https://www.tretiruka.cz/news/nova-legisaltiva-vyhlasaka-o-podminkach-pouziti-upravenych-kalu-na-zemedelske-pude/>. Tretiruka.cz [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/nova-legisaltiva-vyhlasaka-o-podminkach-pouziti-upravenych-kalu-na-zemedelske-pude/>
- [29] Novela zákona č. 223/2015 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- [30] Vyhláška č. 437/2016 Sb., o používání kalů na zemědělské půdě

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: SCHÉMA ODDĚLENÉHO ODEBÍRÁNÍ KALU ZE SYSTÉMU	18
OBRÁZEK 2: SCHÉMA ČOV OPAVA [6]	35
OBRÁZEK 3: BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ [16]	37
OBRÁZEK 4: BLOKOVÉ SCHÉMA ANAEROBNÍ STABILIZACE S TEPELNÝM FÁZOVÁNÍM PO REKONSTRUKCI [18]	40
OBRÁZEK 5: BLOKOVÉ SCHÉMA JEDNOSTUPŇOVÉ MEZOFILNÍ STABILIZACE PŘED ROKEM 2017 [18]	40

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: MNOŽSTVÍ SUŠINY [1]	12
TABULKA 2: ORIENTAČNÍ SLOŽENÍ PRIMÁRNÍHO KALU PODLE ZASTOUPENÍ TYPŮ LÁTEK [4].....	13
TABULKA 3: PŘÍBLIŽNÉ SLOŽENÍ SEKUNDÁRNÍHO KALU	15
TABULKA 4: SLOŽENÍ KALU [1]	16
TABULKA 5: TYPICKÉ DÁVKY ORGANICKÝCH FLOKULANTŮ PŘI ZAHUŠŤOVÁNÍ KALŮ [8].....	19
TABULKA 6: MEZNÍ HODNOTY KONCENTRACÍ RIZIKOVÝCH LÁTEK A PRVKŮ V KALECH PRO JEJICH POUŽITÍ NA ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ [4]	28
TABULKA 7: MIKROBIOLOGICKÁ KRITÉRIA PRO POUŽITÍ UPRAVENÝCH KALŮ NA ZEMĚDĚLSKOU PŮDU OD 1. LEDNA 2020 [30].....	30
TABULKA 8: ROČNÍ VYHODNOCENÍ	36
TABULKA 9: POROVNÁNÍ PŮVODNÍ MEZOFILNÍ STABILIZACE A SOUČASNÉ KOMBINOVANÉ TERMOFILNÍ/MEZOFILNÍ STABILIZACE [18]	42